

(1 4 0) 気液二相吸引による燃料油の浄化

小山真樹・高木一成・長谷川展男
地盤環境エンジニアリング(株)

1. はじめに

油汚染の浄化対策の選定には、油種、油層・分布などの汚染状況に加え、地盤・地下水状況および浄化サイトの制約などを考慮し決定する必要がある。

本サイトでは、土壌ガス調査およびボーリング調査の結果から下記の汚染状況が確認され、浄化工事施工に際しての制約があった。

土壌ガスおよびボーリング調査結果

- ・漏洩している油種は軽油と考えられた
- ・ベンゼンが地下水環境基準を超過した
- ・観測孔には最大で1 m程度の油層があった
- ・可燃性のメタンガスを含む全VOC（油中の揮発成分の総量）が土壌ガス中に含まれていた
- ・深度GL-1.5 m付近に分布する宙水と深度GL-4.5 m付近の地下水の両方が油で汚染されていた
- ・地下水の湧出量は少なく、連続した揚水が困難であった

浄化サイトの制約

- ・24時間営業の給油所で大規模な工事は困難である
- ・浄化工事期間中も給油所の営業は継続するので営業に支障が無いように工事をする必要がある

以上の条件から、本サイトの浄化対策は、地下水の連続揚水が不可能であることに加え、土壌ガスと地下水の両方の対策を実施する必要がある。また、サイトの制約で大規模な工事が不可能で、浄化対策井戸の新設も困難であった。このため、土壌ガスと地下水を1本の井戸で同時に吸引することのできる気液二相吸引法を採用し、対策井戸は既存ボーリング観測孔を用いた。

以下には、油汚染サイトでの気液二相吸引法の浄化適用事例について述べる。

2. 気液二相吸引法の概要

気液二相吸引法は、対策井戸のスクリーンを不飽和帯と飽和帯の両方に設置し、真空ポンプやフロア等を用いて井戸内に挿入した吸引管で土壌ガス（気相）と地下水（液相）を同時に吸引して浄化を促進させる工法である。

図1に気液二相吸引法の概念図を示す。

気液二相吸引法では最初に地下水を吸引し、その後、地下水位の低下した飽和帯と不飽和帯の土壌ガスを地下水とともに吸引する。吸引した土壌ガスと地下水の混合物は気液分離塔で気体と水に分離され、それぞれに含まれる有害物質を除去した後に環境中へ放出する。

気液二相吸引法は、一般的に口径2~4インチの井戸を用い、透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm/sec程度の地盤での適用が効果的であるとされている。また、トリクロロエチレンなどのVOC（揮発性有機化合物）やガソリンなどの揮発性の高い油の浄化に適している。

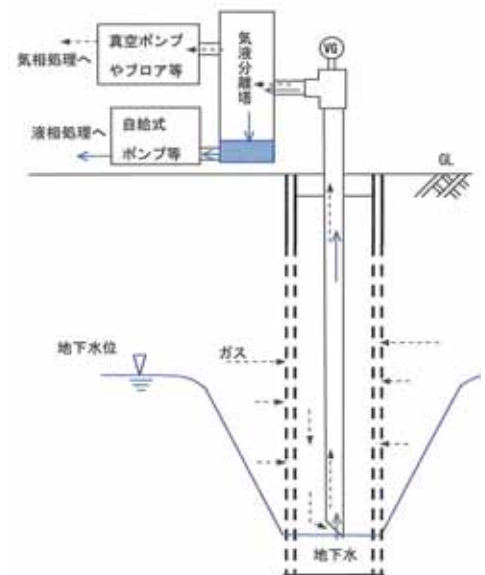


図1 気液二相吸引法概念図

Remediation of Petroleum Hydrocarbons by Dual-Phase Extraction Methods.

Masaki Koyama, Kazushige Takagi, Nobuo Hasegawa (Geo-Environment Engineering Co., Ltd)

連絡先：〒114-0023 東京都北区滝野川 5-7-7-204

地盤環境エンジニアリング(株) 小山真樹

TEL : 03(5394)7230 FAX : 03(5394)0540 E-mail : m.koyama@jkeng.co.jp

3. 浄化サイトの汚染状況

浄化サイトでは、配管の加圧検査で油配管に異常があり、漏油が疑われたため土壌ガス調査を実施した。

軽油計量器および地下タンク周辺の土壌ガスには、ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン（以下、BTEX）が含まれていた。また、軽油タンクの北～南東側、軽油計量器の南側から給油所入り口付近にかけての土壌ガスには、可燃性のメタンガスおよびTPH（総石油系炭化水素）が含まれており（図2）メタンガスは最も高い地点で、測定上限値の50 vol%を超過した。

調査ボーリングでは、4孔に油層があり、図3左に示す4地点の地下水と3地点の宙水でベンゼンが環境基準を超過した。地下水のTPH分析では軽油に相当する画分（C₉-C₂₄）が多く、TPHは軽油計量器の南側から、給油所入り口付近にかけての範囲に分布していた（図3右）。

土壌のラボ分析ではBTEXおよびTPHが含まれていたが、ベンゼンは環境基準未満であった。

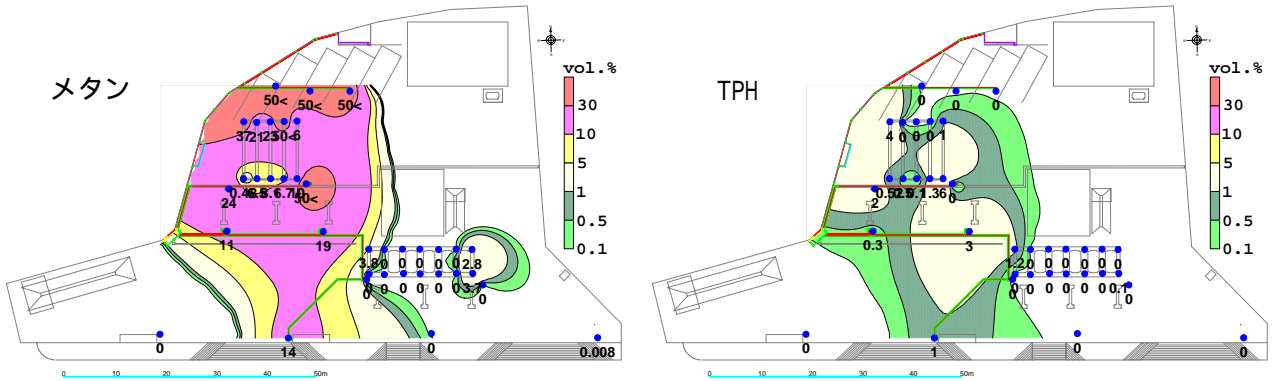


図2 土壌ガス調査結果（単位:vol%）

注：図中のTPHはIR式VOC検知器で測定したメタンを含む石油系炭化水素からメタンを減じた値

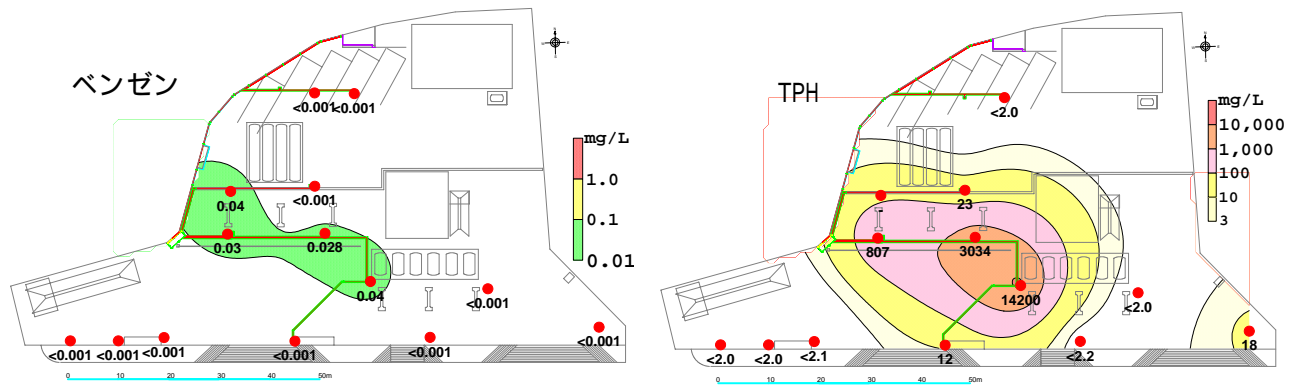


図3 地下水濃度分布図（単位:mg/L）

（ボーリング調査結果：宙水の結果は除く）

4. 装置の概要

本サイトの気液二相吸引処理装置は、対策井戸・水封式真空ポンプ・油水分離装置（油水分離槽および油水分離器）で構成されている。各対策井戸からのガス、地下水および油の吸引は水封式真空ポンプで行なっている。

吸引されたガス、地下水および油は気液分離塔で分離した。ガスは水封式真空ポンプで気相活性炭に送り吸着処理した。気液分離塔内で分離した地下水と油は、排水ポンプで油水分離装置に送り、油分を廃油タンクに回収した。回収した油は、産業廃棄物として処理した。油分回収後、地下水中に含まれる BTEX などの有害物質は、液相活性炭で吸着処理した（図 4～図 6）。

通常、気液二相吸引に用いる対策井戸は口径 2～4 インチであるが、本サイトは営業中のガソリンスタンドであり対策井戸を新設することが出来なかったため、ボーリング調査の際に設置した口径 1 インチの PVC 管製観測孔を用いた。井戸の内部には気液二相吸引のための吸引管としてステンレス管を設置した（図 7）。浄化対策井戸は、宙水を対象として深度 1.0～3.0 m 付近にスクリーンを設置した 8 孔、および地下水を対象として深度 4.0～6.0 m 付近にスクリーンを設置した 6 孔の計 14 孔とした。

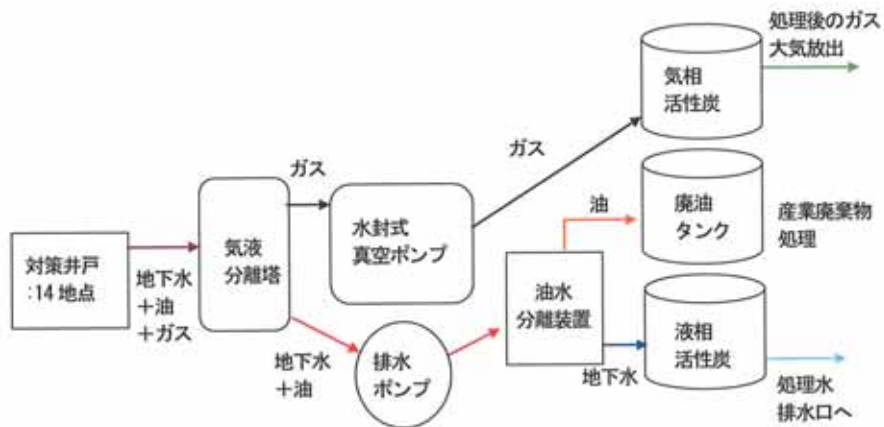


図 4 浄化装置フロー



図 5 気液分離塔・水封式真空ポンプ
および排水ポンプ



図 6 油水分離装置
(油水分離槽および油水分離器)

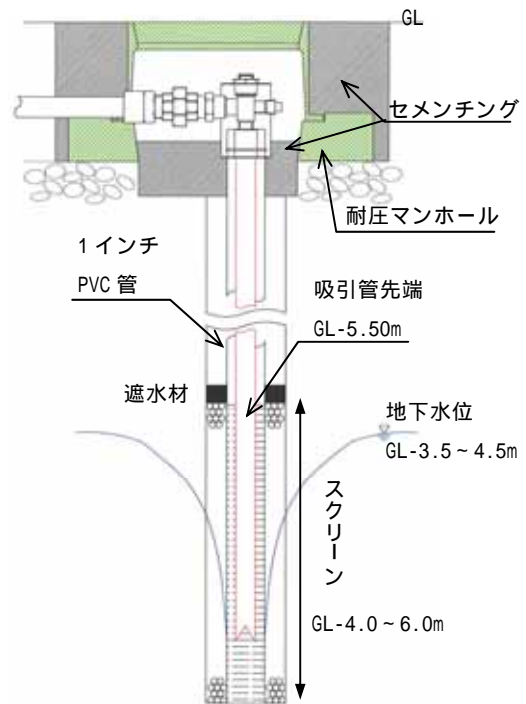


図 7 対策井戸構造図
(地下水対象井戸：深度 6m)

5. 浄化対策結果

浄化対策効果を把握するために地下水と土壌ガスについて、下記項目のモニタリングを行なった。

地下水

- ・油層厚および地下水位の測定
- ・BTEX, n-ヘキサン抽出物質, TPH(ラボ分析)

土壌ガス

- ・TPH, メタンガス(現地測定)

以下にモニタリング結果について述べる。

5.1 油層および地下水濃度状況

運転開始から5ヵ月間のモニタリングでは、浄化装置運転前に最大約1m程度あった油層厚は最大で5cm程度まで減少した(図8)。

ベンゼンが環境基準を超過した井戸は、運転開始前は図9左に示す地下水対象井戸4地点と宙水対象井戸1地点の計5地点であったが、運転開始5ヵ月後には図9右に示す地下水対象井戸2地点に減少した。また、トルエン, エチルベンゼン, キシレンの濃度も全体的に減少した。

TPHは、5ヵ月後のモニタリングで運転開始前に最も濃度の高かった地点で定量下限値未満(<3mg/L)まで減少した(図10)。高濃度部は、軽油計量器の北側および敷地境界の低濃度部と比べて吸引量を多く調整したため、BTEXやTPHの濃度は大きく減少した。逆に低濃度部は吸引量を少なく調整していたため、TPH濃度の改善が認められず、これら箇所の吸引量を増やして運転することとなった。

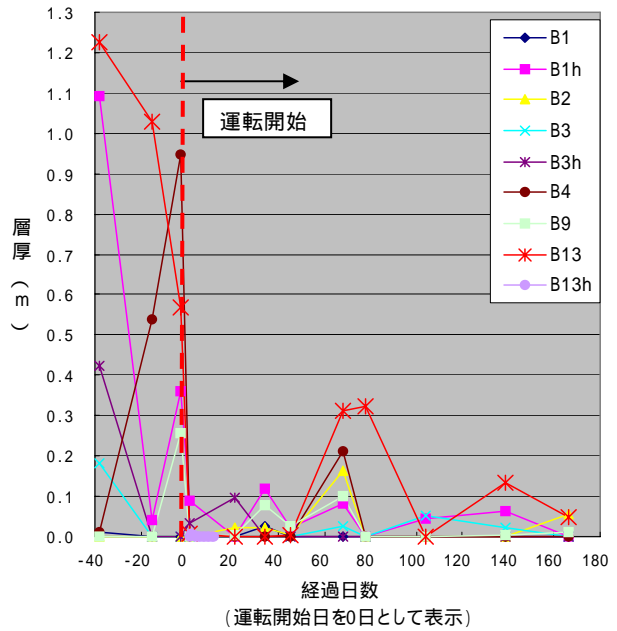


図8 井戸内油層厚変動図

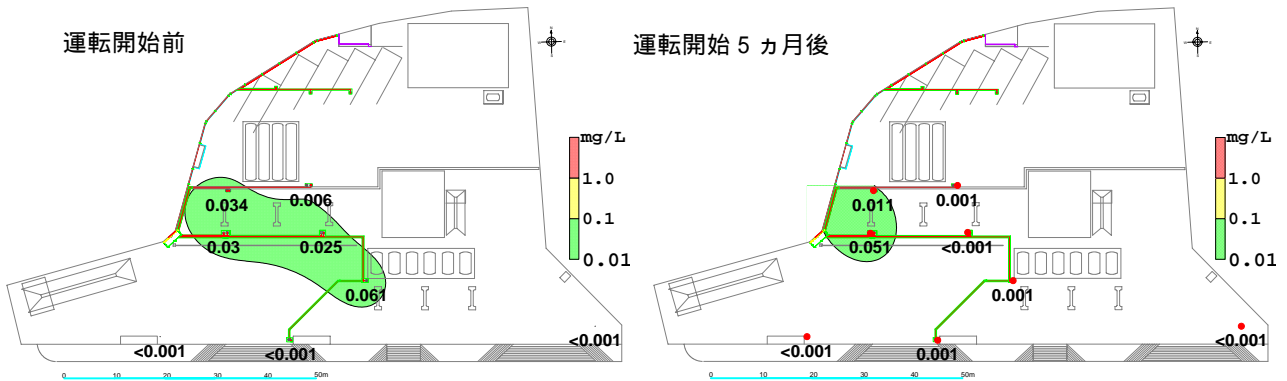


図9 地下水中のベンゼン濃度分布図 (単位:mg/L) 宙水の結果は除く

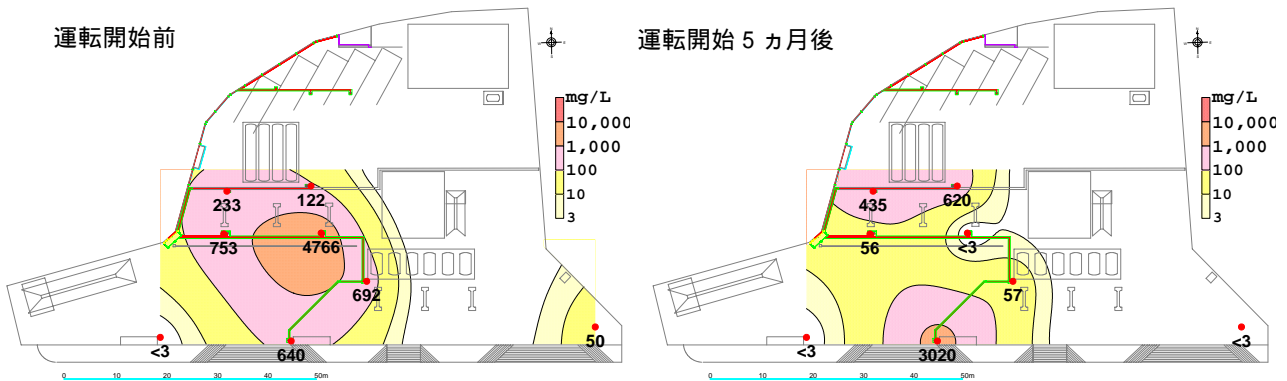


図10 地下水中のTPH濃度分布図 (単位:mg/L) 宙水の結果は除く

5.2 土壌ガス濃度状況

土壌ガス中の TPH およびメタンは、5 ヶ月後の土壌ガス濃度でほぼ 0 vol.% まで減少した（図 11 および図 12 参照）。

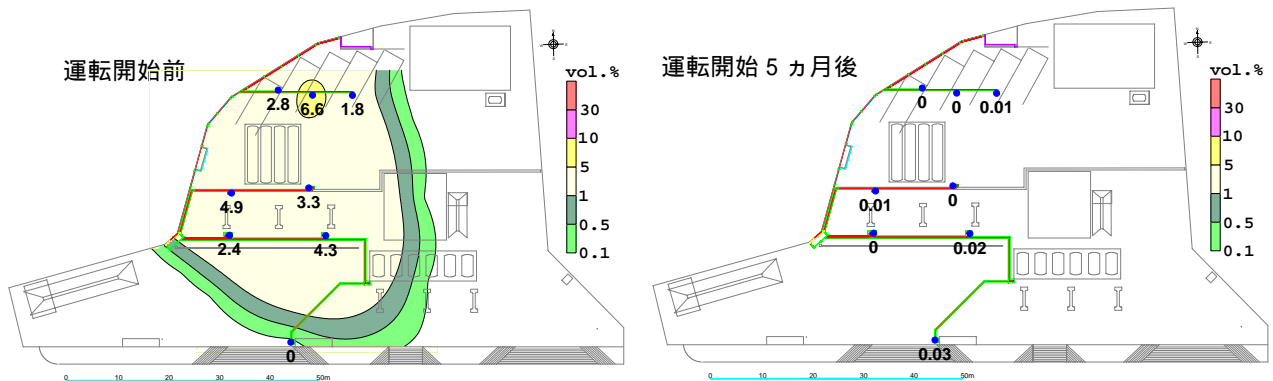


図 11 土壌ガス濃度分布図（TPH）（単位:vol.%）

注：図中の TPH は IR 式 VOC 検知器で測定したメタンを含む石油系炭化水素からメタンを減じた値

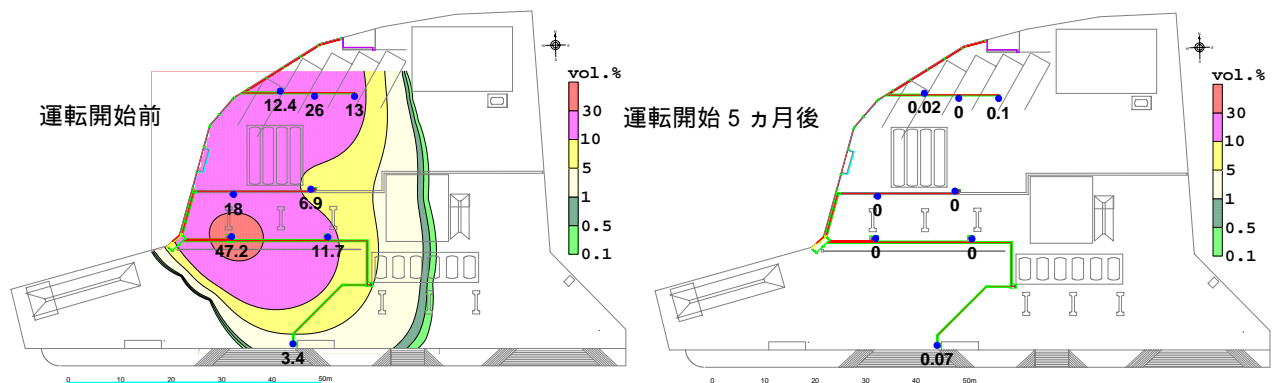


図 12 土壌ガス濃度分布図（メタン）（単位:vol.%）

5.3 油の回収状況

気液二相吸引法により回収したガス，地下水および油分は、それぞれ下記の方法により油の回収量を試算した。

気相活性炭での回収量

土壌ガスの積算風量は 5 ヶ月間で約 150,000 m³ であった。気相活性炭による回収量は、濃度（vol.ppm）を重量に換算して試算した。気相活性炭での油の推定回収量は、運転開始より 5 ヶ月間で約 2,000 kg となった。なお、試算に用いた濃度は IR 式 VOC 検知器で測定した TPH よりメタンを減じた値とし、物質をキシレン（分子量：106.17）と仮定して算出した。

液相活性炭での回収量

調査地では地下水の湧出量が少なく、5 ヶ月間の運転期間中に処理した水量は約 220 m³ であった。地下水に含まれる油分の液相活性炭での回収量は、回収した地下水の TPH 濃度と排水量より試算した。運転開始から 5 ヶ月間で回収された油は約 25 kg と算出された。

油水分離装置での回収量

廃油タンクに回収された油は約 100 L で油の比重を 0.85 とすると約 85 kg であった。

以上の結果から、油の回収量は、浄化装置運転開始から 5 ヶ月間で約 2,100 kg と試算された。

気液二相吸引法での油の回収量は、土壌ガスとしての回収量が多かった。これは、浄化サイトの地下水湧出量が少ないためだけでなく、油分をガス体で回収する効率が高いためと考える。

6. 浄化装置運転についての検討項目

当初、井戸から吸引した油分は、油水分離槽で回収し再生利用する予定であった。しかし、試運転調整時には回収される油分が多く、且つ一部はエマルジョン化していたため（図 13）、分離槽単独での回収は困難であった。そこで油分を回収するために、油水分離器を追加した（図 6 参照）。

油水分離器に回収された油分（エマルジョン化したものを含む）は、分離器内で最大 20 cm 程度の層厚があった（図 14）。

回収されたエマルジョン化した浮遊物質は当初、鉄バクテリアと考えられた。しかし、鉄バクテリアの分析結果は陰性で、エマルジョン化した油と水酸化鉄の混合物であった。これらの混合物は、廃油タンクに回収し産業廃棄物として処理した。

エマルジョン化した油が回収される原因として、配管内やバルブ吐出口で流量を絞られて開放された際の乱流現象により水・油・空気が混合したことが考えられた。



図 13 回収した油の状況



図 14 回収した油および鉄分の状況
（油水分離器内部状況）

7. まとめ

本浄化サイトでは、5 ヶ月間の気液二相吸引装置の運転で下記の浄化効果があった。

- ・地下水の BTEX および TPH は全体的に減少した
- ・油層厚は運転開始前に最大で 1m 程度であったが、5 ヶ月後は最大で 5cm まで減少した
- ・土壌ガスの TPH およびメタンはほぼ 0 vol% まで減少した
- ・装置の運転で回収した油の量を試算した結果、気相活性炭で約 2,000 kg，液相活性炭で約 25 kg，油水分離機で約 85 kg，合計で約 2100 kg となった

以上の結果、気液二相吸引法は油の原位置浄化工法としての適応は充分可能である。

また、本研究のような対策井戸が 1 インチと細く、対策井戸の増設が出来ないなどの制約があった場合でも浄化効果が認められた。

ただし、吸引した油のエマルジョン化や地下水に含まれる鉄分の対応などの問題点もあり、装置の構造等については今後も検討・改良する必要がある。

参考文献

- 1) EPA、Multi-Phase Extraction State-of-the-Practice、US Environmental Protection Agency、1999.6
- 2) 長谷川展男・渡部貴史、油汚染サイトにおけるメタンガス調査事例、地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第 12 回 講演集
- 3) (財) 省エネルギーセンター、改定 熱計算入門 熱・蒸気編、P24～、1985.5
- 4) 熊井俊彦、熱力学と化学平衡、培風館、P4～、1982.11